

Поворознюк А.И., Филатова А.Е.

Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, Украина

Синтез обобщенного решающего правила для структурной идентификации биомедицинских сигналов с локально сосредоточенными признаками

Большинство сигналов, полученных в результате функциональной диагностики состояния сердца и сердечно-сосудистой системы, относится к биомедицинским сигналам (БМС) с локально сосредоточенными признаками (ЛСП). Разработка эффективных методов структурной идентификации (СИ) БМС с ЛСП является актуальной задачей при проектировании интеллектуальных компьютерных кардиологических систем поддержки принятия решений. В [1] сделана общая постановка проблемы и предложена обобщенная схема структурной идентификации БМС с ЛСП на основе нелинейного фильтра (НФ). При этом функция обнаружения i -го канала нелинейного фильтра имеет следующий вид:

$$\tilde{y}_i[t] = \frac{1}{1 + \alpha_i \sum_j (y_{ij}^3 - y_{ij}^t)^2}, \quad (1)$$

где $\alpha_i > 0$ – коэффициент, отражающий чувствительность к изменениям структурных элементов (СЭ) одного класса за счет наложения помех и вариации параметров; $y_{ij}^3 = f_{ij}(x_0[t], \vec{p})$, $y_{ij}^t = f_{ij}(x[t], \vec{p})$ – координаты эталона и текущего объекта соответственно; j – индекс координаты объекта; $f_{ij}(x[t], \vec{p})$ – функция преобразования сигнала $x[t]$ в пределах апертуры на основе модели полезного сигнала (МПС); $x_0[t]$ – эталон структурных элементов заданного класса; \vec{p} – вектор параметров преобразования.

Для СИ по i -му каналу предложено частное решающее правило (ЧРПи):

$$\tilde{x}_i[t] = \begin{cases} x[t] \quad \forall t \in [t_{0ij}; t_{0ij} + T_0], & \text{если } \tilde{y}_i[t_{0ij}] > Pd_i; \\ x^0, & \text{в остальных случаях,} \end{cases}$$

где Pd_i – пороговое значение ЧРПи; t_{0ij} – точка локального максимума функции $\tilde{y}_i[t]$ такая, что $\tilde{y}_i[t_{0ij}] \geq \tilde{y}_i[t] \quad \forall t \in \dot{\mathbf{M}}(t_{0ij})$; $\tilde{y}_i[t]$ – функция обнаружения (1) i -го канала; $\dot{\mathbf{M}}(t_{0ij}) = \mathbf{M}(t_{0ij}) \setminus \{t_{0ij}\}$ – проколотая окрестность точки t_{0ij} ; $\mathbf{M}(t_{0ij})$ – окрестность точки t_{0ij} ; j – индекс локального максимума; $x^0 = \text{const}$ – константа, определяющая уровень сигнала, соответствующий отсутствию структурного элемента заданного типа на текущем фрагменте сигнала (например, уровень изолинии ЭКГ).

Исследования функций обнаружения $\tilde{y}_i[t]$ показали, что при использовании различных МПС и методов преобразования БМС с ЛСП в общем случае для j -го СЭ искомого вида $t_{0ij} \neq t_{0kj}$ при $j \neq k$. Введем для каждого канала вспомогательную функцию, которая принимает значение 1 на участках, соответствующих найденным СЭ, и 0 во всех остальных случаях:

$$z_i[t] = \begin{cases} 1, & \text{если } \tilde{x}_i[t] > x^0; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В случае присутствия СЭ заданного класса на анализируемом отрезке сигнала большинство функций $z_i[t]$ будет принимать значения 1 для данного СЭ. Тогда для j -го СЭ по всем каналам НФ формируется множество начальных точек \mathbf{L}_j по следующему мажоритарному правилу:

$t_{0ij} \in \mathbf{L}_j$ если $\exists t \in [t_{0ij}; t_{0ij} + T_0]$ такое, что $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i[t] \geq \frac{n+1}{2n}$, где n – число ЧРП.

Применение обобщенного решающего правила выполняется в два этапа. На первом этапе вычисляется вспомогательная функция $z[t]$:

$$z[t] = \begin{cases} 1, & \forall t \in [t'_{0j}; t''_{0j} + T_0]; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (2)$$

где $t'_{0j} = \min(t_{0ij} \in \mathbf{L}_j)$, $t''_{0j} = \max(t_{0ij} \in \mathbf{L}_j)$ – минимальное и максимальное значения множества индексов найденных СЭ \mathbf{L}_j на j -м фрагменте сигнала.

Построение функции по (2) можно проиллюстрировать следующим образом. Пусть в КРП включены 3 ЧРП, т.е. $n = 3$. В случае обнаружения j -го структурного элемента суперпозиция функций $z_i[t]$ представлена на рис. 1. При этом $\mathbf{L}_j = \{t_{01j}, t_{02j}, t_{03j}\}$, $t'_{0j} = t_{02j}$ и $t''_{0j} = t_{03j}$.

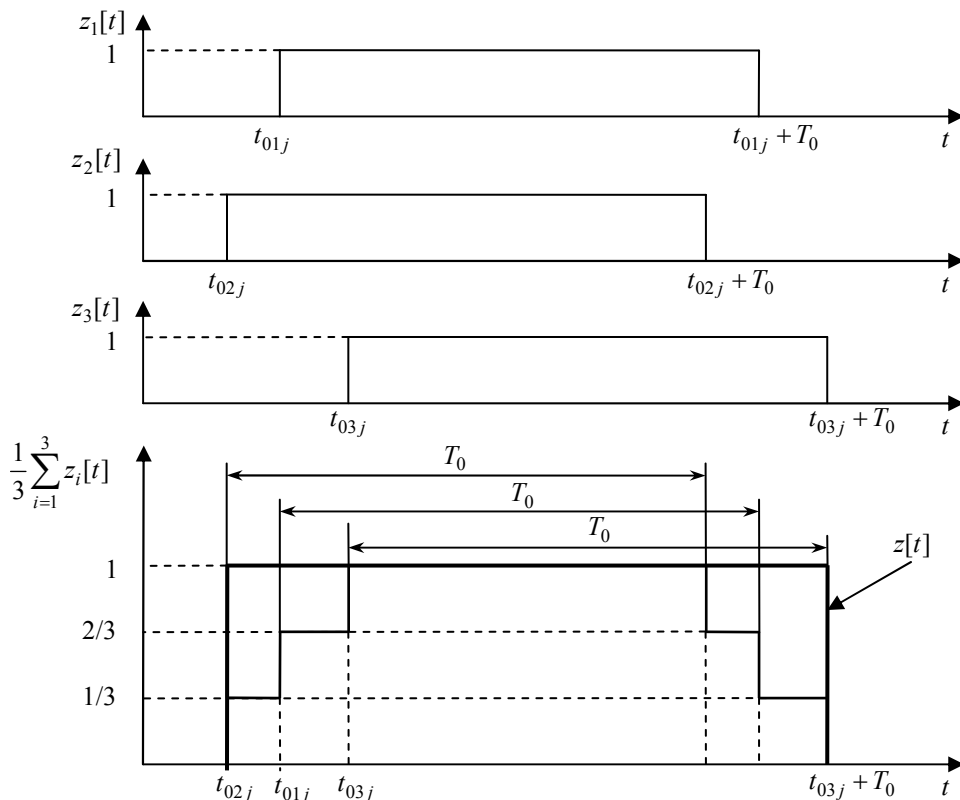


Рис. 1. Фрагменты функций $z_i[t]$ для j -го структурного элемента, суперпозиция функций $z_i[t]$ и получение функции $z[t]$

На втором этапе с помощью функции (2) вычисляется отклик НФ по следующему правилу:

$$\hat{x}[t] = \begin{cases} x[t] \quad \forall t \in [\bar{t}_{0ij}; \bar{t}_{0ij} + T_0], & \text{если } z[\bar{t}_{0ij}] = 1; \\ x^0, & \text{если } z[\bar{t}_{0ij}] = 0, \end{cases}$$

где $\bar{t}_{0ij} = \sum_{i \in \mathbf{L}_j} w_i t_{0ij}$ – усредненное положение j -го СЭ заданного типа; \mathbf{L}_j – множество индексов ЧРП для j -го структурного элемента; w_i – весовые коэффициенты, учитывающие вклад ЧРП i в КРП ($\sum_{i \in \mathbf{L}_j} w_i = 1$). В самом простом случае $w_i = 1/|\mathbf{L}_j|$, где $|\mathbf{L}_j|$ – мощность множества \mathbf{L}_j .

Т.о., предложено обобщенное решающее правило, учитывающее результаты структурной идентификации биомедицинских сигналов с локально сосредоточенными признаками по каждому из каналов нелинейного фильтра. Дальнейшие исследования направлены на экспериментальную проверку эффективности коллектива решающих правил на реальных сигналах.

Литература. 1. Поворознюк А.И. Описание эталона для синтеза функции отклика нелинейного фильтра в задаче структурной идентификации биомедицинских сигналов с локально сосредоточенными признаками / Поворознюк А.И., Филатова А.Е. // Вісник НТУ «ХП». Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – 2012 – № 38. – С. 136-141.